对黄河流域河湖生态环境复苏的思考*

张金良[1,2]

[1]（黄河勘测规划设计研究院有限公司，河南 郑州 450003）

[2]（水利部黄河流域水治理与水安全重点实验室（筹），河南 郑州 450003）

摘要：水是黄河的命脉，河湖生态环境健康是黄河流域生态保护和高质量发展的核心要素之一，如何实现黄河流域河湖生态环境全面复苏是当下的热点与难点。本文采用熵权模型，通过流域河湖生态环境质量综合评价指数实现了对流域河湖生态环境演变特征评价，分析了黄河河湖生态环境复苏面临的问题，探讨了黄河流域河湖生态环境复苏目标与格局，从而提出河湖生态环境复苏的思路。结果显示：（1）黄河流域河湖生态环境系统正在由无序发展向有序发展转变；（2）黄河干流统一调度和水土保持等措施对黄河流域河湖生态环境复苏具有良好推动作用；（3）应协调上下游、左右岸、水域陆域，以生态保护治理、地下水超采治理和水土流失综合治理为目标，持续促进黄河流域河湖生态环境的全面复苏。

关键词：河湖　生态环境　复苏　思考　黄河流域

分类号：TV212.4

Reflection on Eco-Environmental Recovery of Rivers and Lakes in Yellow River Basin

ZHANG Jinliang1,2

[1](Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou 450003, China）

[2](Key Laboratory of Water Management and Water Security for Yellow River Basin, Ministry of Water Resources (under construction) , Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Water is the lifeblood of Yellow River, and the eco-environmental health of rivers and lakes is one of the core elements for ecological protection and high-quality development of Yellow River Basin. How to realize comprehensively eco-environmental recovery of rivers and lakes in Yellow River Basin is the hot issue in current. The entropy model based on the proposed Environment Development Index is employed, in this paper, to evaluate the evolution characteristics of rivers and lakes eco-environment in Yellow River Basin and to analyze the existing problems. Then, the goal and pattern for the eco-environmental recovery of rivers and lakes in Yellow River Basin are discussed and the corresponding ideas are put forward. The results show that (1) the eco-environmental system of Yellow River Basin is changing from disordered development to orderly development; (2) Measures such as unified operation of the main Yellow River, soil and water conservation can promote the eco-environmental recovery of rivers and lakes in Yellow River Basin; (3) It is necessary to coordinate the upstream and downstream areas, the left and right banks, and the water and land areas, with the goal of ecological protection and treatment, groundwater over-extraction and comprehensive control of soil and water loss, so as to continuously promote the eco-environmental full recovery of rivers and lakes in Yellow River Basin.

Key words: Rivers and lakes　Ecology and environment　Recovery　Reflection　Yellow River Basin

黄河是中华民族的母亲河，流域横跨我国东中西部，是连接青藏高原、黄土高原、华北

*基金项目：国家重点研发计划项目(2018YFC1508706)；中国工程院咨询研究项目(2019-XZ-65)的研究成果之一。

作者简介：张金良(1963-)，男，教授级高级工程师，博士，博士生导师，主要从事水利水电工程设计研究。E-mail：jlzhangyrec@126.com

平原的生态廊道，构成我国重要的生态屏障和经济地带，是打赢脱贫攻坚战的重要区域，对于保障国家生态安全、能源安全、经济安全、粮食安全具有举足轻重的战略地位。2019年9月18日，习近平总书记在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会并发表重要讲话，指出洪水风险依然是流域的最大威胁，流域水资源保障形势严峻，发展质量有待提高，提出要保障黄河长治久安、推进水资源节约集约利用、推动黄河流域高质量发展，发出“让黄河成为造福人民的幸福河”的伟大号召[1]，习总书记的重要批示指示对黄河流域河湖生态环境健康提出了更高要求。黄河水少沙多、水沙关系不协调、洪水灾害频繁，一直黄河流域复杂难治的症结所在[2-4]。黄河流域是一个复杂的巨系统，其中包含河流、湖泊、森林、草原、湿地、荒漠、戈壁等丰富的生态环境要素，这些要素在复苏黄河河湖生态环境中具有重要作用[5-6]。随着气候变化与人类活动的加剧，黄河流域河湖生态环境持续变化[7-8]，如何保障其呈现持续性复苏状态、达到流域河湖生态环境系统稳定目标，是当前需要关注的热点问题。因此，论文针对“黄河流域河湖生态环境复苏”这个问题展开思考，通过评价黄河流域河湖生态环境演变特征，探究其存在的问题；厘清黄河流域河湖生态环境复苏目标与总体格局，探讨并提出黄河流域河湖生态环境复苏思路，以期为黄河流域生态保护与高质量发展战略的实现提供参考。

1 黄河流域河湖生态环境演变特征

1.1 数据与分析方法

（1）所需数据

根据系统性、全面性和可获取性原则，考虑黄河流域河湖生态、环境特征，从黄河流域河湖保护治理、地下水超采治理、水土流失治理等三方面[9]，选取与流域河湖生态环境复苏密切相关的 10 项指标构建黄河流域河湖生态环境系统评价体系[10]，评价体系主要包含目标层、准则层、指标层（详见表 1）。

表 1　黄河流域河湖生态环境综合评价指标体系

序号	目标层	准则层	指标层	单位	数据来源
1	水环境	水文情势	重要断面生态基流保证率	%	断面水文资料
2	水环境	水质因素	重要水功能区水质达标率	%	《中国水资源公报》
3	水环境	水质因素	重要支流水质达到或优于III类河长比例	%	《中国水资源公报》
4	生态	生物因素	生境质量指数	/	根据中科院资源环境科学与数据中心的土地利用空间数据集计算
5	生态	生物因素	植被覆盖指数	/	根据中科院资源环境科学与数据中心的 NDVI 空间数据集计算
6	生态	河网因素	水网密度指数	/	根据中科院资源环境科学与数据中心的土地利用空间数据集、河网空间数据集、规划院提供的水资源量计算
7	生态	陆地因素	土地胁迫指数	/	根据黄委会上中游局提供的土壤侵蚀模数、土壤类型、面积计算
8	生态	陆地因素	黄土高原水土流失治理面积	km^2	黄委会上中游局提供
9	生态	陆地因素	典型区域湿地面积变化率	%	根据 Landsat 卫星遥感影像解译
10	生态	水文因素	地下水超采量	万 m^3	《黄河流域水资源公报》

指标数据包括遥感、测绘、地理信息等数据以及收集的行业（专业）数据，土地利用、NDVI等数据下载自中国科学院资源环境科学与数据中心（www.resdc）,典型区域湿地面积数据来源于美国陆地温馨Landsat遥感影像解译，行业（专业）数据主要由水利部黄河水利委员会提供，数据时间范围为1980-2019年。由于时间、空间跨度较大，需要对数据进行预处理，

结合实际情况，采用直线插值、样条插值、拉格朗插值及灰色预测法[10-11]等进行数据补齐和处理。

（2）分析方法

采用熵权模型对黄河流域河湖生态环境系统现状进行综合评价，通过将各指标归一化，定义并提出河湖生态环境质量综合评价指数（Environment Development Index，EDI），以此来评价黄河流域河湖生态环境状况，计算方法详见张金良等的研究成果[10-11]。其中，EDI指数数值越大表示流域河湖生态环境越好，越趋于良性循环；数值越小表示流域河湖生态环境越差，所处状态存在一定的问题。

1.2 河湖生态环境演变特征

通过分析，黄河流域EDI指数总体呈上升趋势，最大值为0.77（2019年），最小值为0.57（1981），平均值为0.64（见图1），说明黄河流域河湖生态环境整体向好发展，且流域河湖生态环境系统逐步由混乱无序向稳定有序发展。

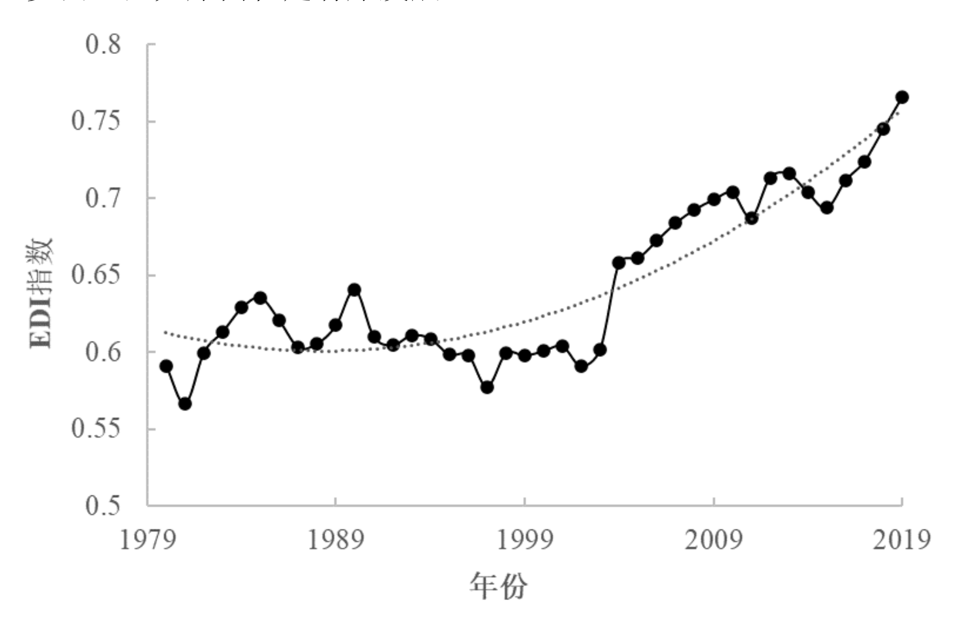


图 1　黄河流域河湖生态环境系统 EDI 值变化

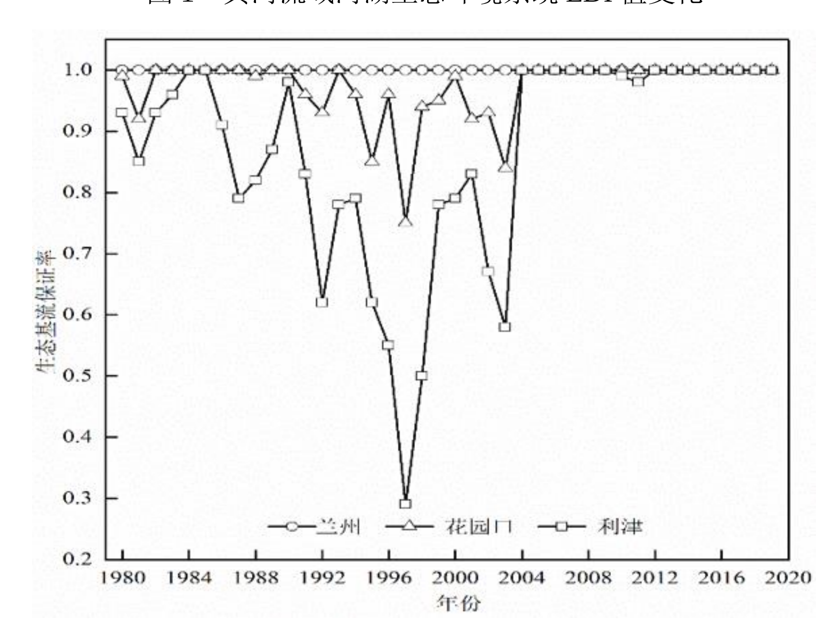


图 2　黄河流域重要断面生态基流保证率变化特征

分析黄河干流兰州、花园口和利津等重要断面1980年-2019年生态基流保证率发现（见图2），兰州断面生态基流保证率均为100%，说明黄河干流上游生态水量较充足，为兰州鲇等重要土著保护鱼类提供了基本的栖息环境；花园口、利津断面生态流量在1980年-2003年间存在缺口，特别是利津断面，个别年份生态基流保证率不足30%。从2004年开始，3个主要断面的生态基流保证率几乎全部达到100%，该指标的演化趋势表征了黄河干流生态水量得到了系统性改善。

分析黄河流域及域内各省范围生境质量指数变化率可知（见图3），1980年-2009年黄河流域河湖生态环境系统总体稳定，存在缓慢的波动变化，年均变化率不足0.1%，说明随着区域经济社会的不断发展，特别是城镇化、农业规模化等对自然生境的挤压，重要野生动植物栖息地和生境得到了有效保护和修复。流域内各省区生境质量指数变幅最显著的是内蒙古，初期波动较大，之后逐渐放缓，说明生境质量下降的趋势在逐渐遏制，这可能与内蒙古黄河流域地区退耕还林还草还湿系统工程的成效开始显现有关;河南黄河流域多为大堤内滩区范围，生境质量存在阶段性下降，但2006年之后呈上升趋势，即随着黄河下游滩区综合提升和生态廊道建设，河南黄河流域河湖生态环境有望进一步得到复苏。

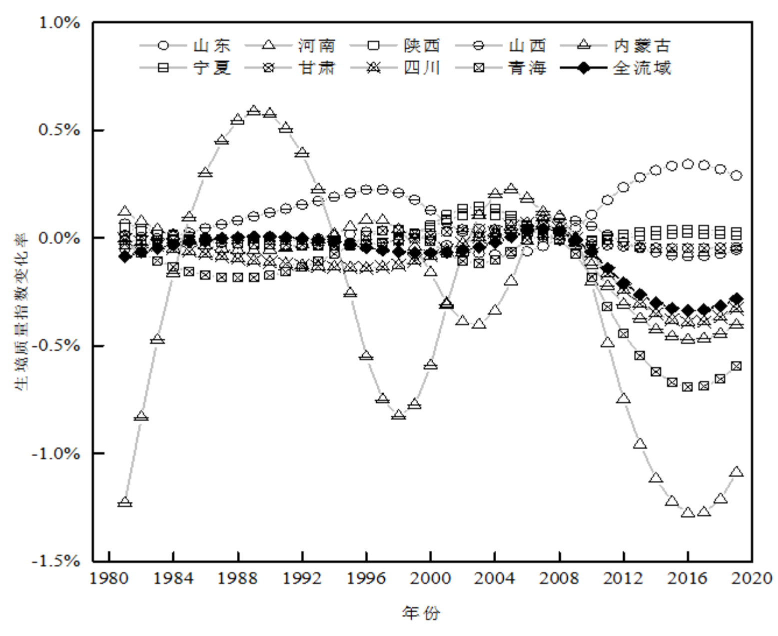


图 3　黄河流域生境质量指数变化特征

究其原因，主要是1980年-1997年是1978年改革开放后，黄河流域社会主义现代化建设和经济进入加快发展阶段，经济发展方式粗放，重点追求GDP增长率，引发流域河湖出现一系列生态环境问题，黄河河湖EDI指数整体呈现下降特征，而1979年三北防护林工程、1984年黄河防护林工程的实施，对黄河河湖生态环境复苏起到了一定促进作用。2002年~2019年，黄河流域经济发展正在由粗放式模式向集约型模型转变，经济增长的同时，生态保护和治理得到注重，黄土高原水土保持治理、污染防治，以及拥有小浪底水库后黄河干流水资源统一调度体系的日渐成熟，都在不断促进黄河河湖生态环境的有效复苏；但在此期间，流域仍存在区域河湖断流、人为水土流失严重、河湖水污染、地下水超载等问题，给黄河河湖生态环境的全面复苏提出了更高挑战。

2 黄河流域河湖生态环境复苏面临问题

当前，我国正处于“两个一百年”奋斗目标的历史交汇期。党中央将黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略，黄河流域治理和保护迎来了难得的历史机遇，也面临一系列新的更高的要求。由于黄河一直“体弱多病”，生态本底差，资源环境承载能力弱，流域

水安全的老问题有待解决，新问题越来越突出、越来越紧迫，黄河流域河湖生态环境复苏仍面临严峻的形势和挑战。

（1）流域河湖生态环境脆弱是突出短板

一是青藏高原冰川、草原草甸和三江源、祁连山是高寒生态系统，生态地位重要、易发生退化，遭到破坏后恢复难度大且过程缓慢。与上世纪 80 年代比，河源区永久性冰川雪地面积减少 52%，湿地面积萎缩 20%，草地面积减少 5.5%，水源涵养能力仍偏低。二是河湖生态保护压力持续增大。黄河干支流生产用水挤占生态用水，据测算年均生态水量亏缺约 20 亿 m^3，特别是汾河、沁河、大黑河、大汶河等支流断流问题突出。三是汾河、延河、泾河等支流污染严重，劣Ⅴ类断面占比达 11.3%。另外，农村水系存在淤塞萎缩、水域空间被挤占、缺水断流、水污染严重、水生态恶化等问题。

（2）流域地下水超采是突出问题

当前黄河水资源开发利用率高达 80%，远超一般流域 40%的生态警戒线；黄河流域地表水超载地市有 13 个，占建制市数量的 22%；地下水超载县级行政区有 62 个，占县级行政区数量的 14%。汾渭平原等地区仍存在地下水超采，浅层地下水年均超采达 9.4 亿 m^3。与上世纪 80 年代相比，黄河宁蒙、小北干流、下游等河段河流湿地面积减少约 30%~40%，河口三角洲天然湿地萎缩 50%。

（3）流域水土流失治理是突出挑战

2019年流域仍有接近一半的水土流失面积尚未得到有效治理，其中7.86万km^2多沙粗沙区自然条件十分恶劣，尤其是1.88万km^2的粗泥沙集中来源区治理难度更大；梯田、淤地坝等建设标准普遍偏低、病险率高，亟待提质增效。同时，流域人为水土流失依然存在，水土保持监测监管能力有待加强；城镇化、工业化与资源开发导致流域生产建设项目数量多、规模大、涉及范围广，人为水土流失问题突出，水土保持监测监管能力亟待拓展和加强。

3 黄河流域河湖生态环境复苏目标与格局

3.1 河湖生态环境复苏目标

黄河是世界上含沙量最高、治理难度最大的河流，历史上曾“三年两决口、百年一改道”，给沿岸百姓带来了深重灾难，成为中华民族“心腹之患”。新中国成立以来，经过多年的水利建设，流域河湖生态环境持续明显向好。黄河流域自然条件复杂，河情特殊，决定着黄河治理的长期性、复杂性和艰巨性[5-6]，当前黄河流域河湖生态环境复苏仍存在一些突出困难和问题：流域河湖生态环境脆弱是突出短板，流域地下水超采是突出问题，流域水土流失治理是突出挑战。优质的生态环境是最普惠的民生福祉，为此，在新发展阶段下，人民群众对黄河流域良好生态环境的需求日益增加，提升黄河水生态环境质量和稳定性成为维护河湖健康生命、实现河湖功能永续利用、实现黄河人水和谐的核心支撑。因此，针对黄河河湖生态环境复苏面临的问题，提出以下3个河湖生态环境复苏目标。

（1）河湖生态保护治理目标

河流维持健康的基本要素是水，关键是水的流动，应按照重塑和保持河流健康生命形式的要求，分区分类确定黄河流域河湖生态流量目标，复苏河湖生态环境；推动流域河湖空间管控范围划定与河湖水域岸线空间分区分类管控，深入实施河湖空间带修复，不断打造沿流域河湖分布的绿色生态廊道。

（2）流域地下水超采治理目标

在确定地下水取用水量水位控制指标的基础上，严格控制区域地下水开发强度，进一步压减区域地下水超载量；通过多渠道互补措施实现水源替换，实现超载区地下水回补，逐步达到黄河流域采补平衡状态。

（3）流域水土流失综合治理目标

以黄河上中游地区为重点，通过坡耕地、淤堤坝、侵蚀沟等治理工程建设，提升流域水土流失治理效益；以山青、水净、村美为目标，以沟道治理、水源涵养、生态修复等措施实现流域生态小流域建设，有效消除黄河上中游地区存在的人为水土流失问题。

3.2 河湖生态环境复苏总体格局

按照生态优先、全域治理、流域统筹、协同共享的思路，统筹协调干支流、上下游、左右岸等关系，以流域区域结合、水域陆域结合、资源环境要素结合为基础，构建黄河流域“三区一廊” 的河湖生态环境复苏格局，实现流域干支统筹、人水和谐、河湖健康，全面复苏黄河流域河湖生态环境。“三区”即以三江源、若尔盖、甘南、祁连山、秦岭、六盘山等为主的水源涵养区，以青海东部、陇中陇东、陕北、晋西北、宁夏南部黄土高原为主的水土保持区，以黄河口等重要湿地为主的湿地保护区等三大区域。“一廊”即以黄河干流及湟水、大夏河、洮河、无定河、渭河、汾河、伊洛河、沁河、金堤河、大汶河等支流为主形成上下贯通的生态廊道。

4 黄河流域河湖生态环境复苏的思路

以提升流域河湖生态保护治理、地下水超采治理、水土流失综合治理为目标，统筹水量、水质、水生态，协调上下游、左右岸、水域陆域，加强河湖空间管控，开展水生态保护与修复，推进河湖水环境防治，确保水质不超标，持续改善水生态环境状况。

4.1 强化河湖监管

（1）强化河湖水域保护和监管

划定河湖涉水空间。以黄河流域主要河湖防洪、供水、生态安全为目标，开展河湖管理范围、行蓄洪区、饮用水水源地、水源涵养与水土流失防治区等河湖涉水空间的范围划定工作。对建设水利基础设施等需求，留足必要的空间和廊道。确定不同类型涉水空间的功能定位和用途，明确管理界线、管理单位与管理要求。加强与国土空间规划对接协调，确保涉水空间划分成果纳入同级国土空间基础信息平台，叠加到国土空间规划“一张图”上。

加强河湖水域岸线管控。加强河湖水域岸线保护与管控，强化规划约束机制，编制河湖岸线保护和利用规划，划定岸线保护区、保留区、控制利用区和开发利用区，严格分区管理和用途管制，依法严格规范涉河建设许可，加强事中事后监管。

（2）加强河流生态流量管控

制订生态流量保障方案，落实各项保障措施，明确相关责任主体，加强水量调度，强化用水总量控制。协同制定重要支流生态流量调度方案，因河施策保障河流基本生态流量。建立健全干流和主要支流生态流量监测预警机制，完善生态流量监测设施，根据河湖生态流量保障目标，由水利部确定河湖生态流量预警等级和阈值，及时发布预警信息。全面加强河流重要控制断面监测站点建设，建设水电站生态流量泄水设施及在线监控装置，推动已建涉水工程生态化改造，增设必要的生态流量监测计量设施，完善监管体系。

4.2 提升河流生态廊道功能

（1）加强黄河干流生态廊道保护

上游加强宁蒙灌区深度节水控水行动，优化梯级水库群运用方式，提高河流重要断面基本生态流量保障程度。合理控制宁蒙灌区地下水位，维持西北干旱区灌溉绿洲生态平衡。中游加强黄河干流水量统一调度，发挥古贤水利枢纽工程径流调节作用，保障中游潼关断面基本生态流量。推动鱼类产卵场修复与重建，实施黄河禁渔期制度，并在适宜的河段，开展水生生物增殖放流。统筹河道水域、岸线和滩区生态建设，建设下游生态航道，保护河道自然岸线，营造自然深潭浅滩，为生物提供多样性生境。加强黄河骨干水库统一调度，保障河流基本生态流量和入海水量。推进柔性河防工程等生态友好型工程试点建设。加强下游黄河两岸生态防护林建设，发挥水土保持、防风固沙、加固堤防等功能。

（2）构建重要支流生态廊道

优化支流水资源配置，逐步退还挤占的生态用水，遏制汾河、沁河、大汶河等支流断流态势，保障湟水、大通河、洮河、无定河、渭河、伊洛河等支流入黄控制断面基本生态流量。加强黄河源头区支流以及湟水干流多巴以上河段、大通河中上游、洮河上游、伊洛河中下游等土著鱼类重要栖息地分布河段的保护，以国家公园、重要水源涵养区、珍稀物种栖息地等为重点区域，清理整治过度的小水电开发。加强鱼类受损生境保护与修复，因地制宜建设过鱼设施。严格规范河道采砂行为，依法严厉打击河道内非法采石挖沙，禁止倾倒垃圾、开垦、开矿等不合理人为活动，综合采取河岸带植被恢复、河流生境修复、水环境保护等多种措施，恢复河流连通性，提升生态廊道功能。

（3）加强重要湖泊保护与修复

加强乌梁素海、沙湖等湖泊周边农田面源等源头治理、控污截污，提升湖泊水质。实施湖岸生态保护与修复，改善湖泊及周边生态环境，适时开展应急生态补水，控制人类活动对湖泊的影响，修复湖泊生态功能。优化红碱淖流域水资源配置，保障入湖河流的入湖水量，实施应急生态补水，保护遗鸥等重要生境，实施封育保护、植被修复等生态综合治理工程。推进东平湖综合整治，在保障黄河下游防洪安全的前提下，实施水生态保护与修复工程，通过污染控制、恢复重建、栖息地保护等措施，改善湖区水环境，提高生物多样性。

4.3 实施地下水超采治理与监管

（1）开展地下水超采治理

按照逐步压减地下水超采量、实现采补平衡的原则，开展地下水超采综合治理行动。以鄂尔多斯台地、汾渭谷地、沁河下游地区、黄河下游引黄灌区等地下水超采区域为重点，制定地下水超采治理与保护方案，综合采取节水、退减灌溉面积、水源置换、关停地下水水井等措施，加快推进地下水压采，严格地下水水量、水位双控，逐步实现地下水采补平衡。

（2）加强地下水监管

以县域为单元，明确地下水取用水计量率、监测井密度、灌溉用机井密度等管理指标，实施地下水水量、水位双控，加强超载行政区地下水开发利用监督管理，暂停超载行政区新增取水许可。加强黄河干流宁夏段、北干流、三门峡至小浪底区间及支流湟水、汾河、沁河等区域地下水水位观测，控制地下水开采量，维持合理的地下水水位，严格禁限采区管理。强化山西、陕西、河南等重点超采区域监管联防联控，系统开展流域地下水超采区评价、治理效果监督检查与动态评估，充分发挥国家地下水监测工程作用，完善地下水监测及计量系统建设，建立地下水超采预警机制和监管平台，健全全国—流域—省区监测信息共享机制。

4.4 加大黄土高原水土流失综合治理

（1）大力开展淤地坝建设

以晋陕蒙甘等为重点，在沟壑发育活跃、重力侵蚀严重、水土流失剧烈的黄土丘陵沟壑区，大力开展淤地坝建设，加强对淤地坝建设的规范指导，推广应用新标准、新技术、新工艺，建设一批高标准、高质量的淤地坝。在皇甫川、清水川、孤山川、窟野河、秃尾河、佳芦河、无定河、清涧河、延河等9条主要支流，优先安排建设黄河粗泥沙集中来源区拦沙工程，抬高沟道侵蚀基准面，发挥固土拦沙作用。继续加大对现有淤地坝风险隐患排查力度，加强病险淤地坝除险加固，提升改造老旧淤地坝，推动坝系农业的保障体系建设，充分发挥淤地坝拦沙减蚀作用。

（2）促进高质量旱作梯田发展

以陕甘晋宁青山地丘陵沟壑区等为重点，围绕脱贫攻坚、乡村振兴和美丽乡村建设，在降水量300mm以上地区，选择坡耕地面积占比大、坡度5~15°、近村近路集中连片且正在耕种的坡耕地，大力开展高标准旱作梯田建设，积极推广应用旱作农业新技术新模式，发展高附加值种植业。大力推广农业蓄水保水技术，配套田间生产道路、排灌沟渠、水窖、蓄水池

等措施，加强雨水集蓄利用。因地制宜对窄幅、配套设施不完善、跑土跑水跑肥、产量低、效益较差的老旧梯田进行改造。结合农村人口转移、生态移民和相关政策，有计划地对坡耕地实施退耕还林还草。

（3）因地制宜开展植被保护和修复

遵循黄土高原植被带分布规律，按照宜林则林、宜草则草的原则，采取人工造林、飞播造林等多种措施，开展植被保护和修复。在降水量200mm以下阴山南麓、贺兰山东麓干旱地区，以种草、草原改良、封育保护为主；在降水量200~400mm鄂尔多斯台地等半干旱地区，以种植灌草、封育保护为主，在沟底或水分条件较好的区域因地制宜种植乔木；在降水量大于400mm以上半湿润地区，实施乔灌草相结合，在生态脆弱区域减少人为破坏，对现有植被进行保护。结合地貌、土壤、气候和技术条件，适地适树，科学选育人工造林树（草）种，改善林相结构，提高造林成活率和保存率。适度发展经济林和林下经济，提高生态效益和农民收益。在晋陕蒙砒砂岩地区，开展沙棘生态建设，结合淤地坝、谷坊等拦沙工程建设，治理砒砂岩区水土流失，减少入黄泥沙，改善生态环境，促进区域经济发展和群众脱贫致富。

（4）推进固沟保塬工程建设

以陇东董志塬、晋西太德塬、陕北洛川塬、关中渭北台塬等塬区为重点，突出“保塬固沟，以沟养塬”，实施黄土高塬沟壑区固沟保塬项目，建设塬面、沟头、沟坡、沟道水土流失综合治理“四道防线”，遏制塬面萎缩趋势，保护优质耕地资源。塬面修筑梯田埝地，充分利用地埂栽植经济植物，建立中小型雨水集蓄利用与径流排导相结合的径流调控体系；沟头修筑防护工程和涝池；沟坡上部实行条田台田化，大力营造经济林，沟坡下部营造水土保持林；沟道修建淤地坝、谷坊和防冲林，减少重力侵蚀。

5 结 语

“让黄河成为造福人民的幸福河”是河湖生态环境复苏的终极目标，要把黄河流域河湖生态环境复苏融入到优质水资源、健康水生态、宜居水环境的幸福河建设当中，让优质的河湖生态环境满足人民对黄河流域生态保护与高质量发展的期待。

参考文献：

[1] 习近平.在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J]. 求是，2019(20)：4-11.

[2] 李国英. 深入贯彻新发展理念　推进水资源集约安全利用——写在2021年世界水日和中国水周到来之际[J]. 中国水利，2021(6)：2+1.

[3] 李国英. 在水旱灾害防御工作视频会议上的讲话[J]. 中国防汛抗旱，2021，31(3)：4-5.

[4] 汪安南. “十四五”国家水安全保障规划思路的几点思考[J]. 中国水利，2020(17)：1-3+10.

[5] 牛玉国，张金鹏. 对黄河流域生态保护和高质量发展国家战略的几点思考[J]. 人民黄河，2020，42(11)：1-4+10.

[6] 张金良. 黄河流域生态保护和高质量发展水战略思考[J]. 人民黄河，2020，42(04)：1-6.

[7] 刘昌明，刘小莽，田巍，等. 黄河流域生态保护和高质量发展亟待解决缺水问题[J]. 人民黄河，2020，42(9)：6-9.

[8] 夏军，彭少明，王超，等. 气候变化对黄河水资源的影响及其适应性管理[J]. 人民黄河，2014，36(10)：1-4+15.

[9] 张金良，金鑫，严登明，等. 幸福河框架下黄河流域社会系统发展特征研究[J]. 人民黄河，2021，43(4)：1-5+23.

[10] 张金良，陈凯，张超，等. 基于熵权的黄河流域生态环境演变特征[J/OL]. 中国环境科学：1-9. DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210331.013.

[11] 张金良，曹智伟，金鑫，等. 黄河流域发展质量综合评估研究[J/OL]. 水利学报：1-10. DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.20201088.

[12] 左其亭，费小霞，李东林. 黄河流域生态保护和高质量发展水利专项规划思路与内容框架[J]. 人民黄河 ,2020, 42(9)：21-25.

(通讯作者：张金良　E-mail: jlzhangyrec@126.com)

作者贡献声明：
张金良：提出研究思路，设计研究方案；
张金良：进行实验；
张金良：采集、清洗和分析数据；
张金良：论文起草；
张金良：论文最终版本修订。